الألياف الضوئية (Fiber Optics)

في شبكات الحاسوب والاتصالات

يغطي هذا البحث المفاهيم الفيزيائية، المكونات، الأنواع، والميزات والتحديات التي تواجه هذه التكنولوجيا الأساسية في عصرنا الرقمي.

1. مقدمة وثورة الألياف الضوئية

تُعتبر الألياف الضوئية (Fiber Optics) العمود الفقري لشبكات الاتصالات والإنترنت الحديثة عالمياً. على عكس الكابلات النحاسية التقليدية التي تنقل البيانات في شكل إشارات كهربائية، تعتمد الألياف الضوئية على **نبضات الضوء** لنقل كميات هائلة من البيانات بسرعة تقترب من سرعة الضوء عبر خيوط رفيعة جداً من الزجاج النقي أو البلاستيك.

2. المكونات الأساسية لكابل الألياف الضوئية

يتكون كابل الألياف الضوئية من عدة طبقات متداخلة لحماية الإشارة الضوئية وضمان وصولها بأقل خسائر ممكنة:

- **اللب/النواة (Core):** هو المركز الزجاجي أو البلاستيكي الرفيع جداً (يُقاس بالميكرومتر) الذي يسافر الضوء من خلاله.
- **الكسوة/الغلاف (Cladding):** طبقة زجاجية تحيط باللب مباشرة، وتتميز بمعامل انكسار ضوئي أقل من اللب، ووظيفتها عكس الضوء

داخلياً لإبقائه داخل النواة.

- **الغطاء الواقي (Buffer Coating):** طبقة من البلاستيك تحمي الليف الزجاجي من الرطوبة والخدوش والكسر.
- **الألياف التدعيمية (Strengthening Fibers):** ألياف قوية (غالباً من مادة الكيفلار) لحماية الكابل من الشد والضغط أثناء التركيب.
- **الغطاء الخارجي (Outer Jacket):** الغلاف البلاستيكي النهائي المحيط بالكابل لحمايته من العوامل الجوية والبيئية.

3. النظرية الفيزيائية للعمل: الانعكاس الداخلي الكلي

تعتمد الألياف الضوئية في عملها على ظاهرة فيزيائية تُعرف بـ **الانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection)**.
عندما يدخل الضوء إلى نواة الكابل بزاوية معينة (تُسمى الزاوية الحرجة)، وبسبب اختلاف معامل الانكسار بين اللب والكسوة، لا يخرج الضوء من الزجاج بل يستمر في الارتداد والانعكاس على جدران النواة كأنه يسير في نفق من المرايا، مما يتيح للإشارة الانتقال لمسافات شاسعة حتى وإن كان الكابل منحنياً.

4. أنواع كابلات الألياف الضوئية

تُقسم الألياف الضوئية في الشبكات إلى نوعين رئيسيين بناءً على قطر النواة وكيفية انتقال الضوء:

أ. الألياف أحادية الوضع (Single-Mode Fiber - SMF)

- **القطر:** نواة صغيرة جداً (حوالي 8.3 إلى 10 ميكرومتر).
- **آلية العمل:** تسمح بمرور شعاع ضوئي واحد فقط (غالباً باستخدام أشعة

الليزر).

- **المسافة:** تمتاز بقدرتها على نقل البيانات لمسافات طويلة جداً تصل إلى عشرات الكيلومترات دون الحاجة لمقويات إشارة.
- **الاستخدام:** ربط المدن، كابلات الإنترنت البحرية بين الدول، وشبكات الاتصالات الكبرى.

ب. الألياف متعددة الأوضاع (Multi-Mode Fiber - MMF)

- **القطر:** نواة أكبر (حوالي 50 إلى 62.5 ميكرومتر).
- **آلية العمل:** تسمح بمرور أشعة ضوئية متعددة في وقت واحد بزوايا ارتداد مختلفة (تستخدم غالباً مصابيح LED).
- **المسافة:** مخصصة للمسافات القصيرة (عادة أقل من 2 كيلومتر) لأن الأشعة المتعددة تتشتت بمرور المسافة (Dispersing).
- **الاستخدام:** مراكز البيانات (Data Centers)، شبكات الجامعات والمباني الداخلية (LANs).

5. المقارنة الفنية: الألياف الضوئية مقابل الكابلات النحاسية

الكابلات النحاسية (مثل Cat6)	الألياف الضوئية (Fiber Optics)	وجه المقارنة
إشارات كهربائية (نحاس)	نبضات ضوئية (زجاج/بلاستيك)	**وسيط النقل**
محدود (يصل لـ 10 Gigabits في الثانية)	هائل جداً (يصل لـ Terabits في الثانية)	**النطاق الترددي (Bandwidth)**
لا تتجاوز 100 متر	تصل إلى 40 كم (في الأحادية)	**المسافة بدون مقوي إشارة**
عالية (تتأثر بالمحركات وأسلاك الكهرباء)	منعدم تماماً (مقاومة للبرق والمصانع)	**التأثر بالتشويش الكهرومغناطيسي (EMI)**
منخفضة وسهلة التركيب	مرتفعة وتحتاج معدات متخصصة	**التكلفة وصعوبة التركيب**

6. ميزات الأمن السيبراني في الألياف الضوئية

من منظور الأمن السيبراني وأمن الشبكات، تُعتبر الألياف الضوئية من أكثر الوسائط أماناً مقارنة بالشبكات اللاسلكية أو النحاسية:

١ **صعوبة التجسس والاعتراض:** الكابلات النحاسية تنبعث منها موجات كهرومغناطيسية يمكن للمخترق التقاطها عن بُعد دون لمس الكابل. أما

الألياف الضوئية فلا تسرب أي إشارات خارج الزجاج.

٢ **كشف الاختراق اللحظي:** إذا حاول مهاجم قطع الكابل أو ثقبه لسحب الإشارة الضوئية (Fiber Tapping)، فإن شدة الضوء ستنخفض فوراً (Attenuation)، مما يتسبب في إطلاق إنذار تلقائي في أنظمة مراقبة الشبكة وقطع الاتصال لمنع التسريب.

7. التحديات والعيوب

رغم تفوقها، تملك التكنولوجيا الضوئية بعض التحديات:

- **الكسر عند الانحناء (Bending Loss):** الزجاج الداخلي هش، وإذا تم ثني الكابل بزاوية حادة، فقد يتكسر الزجاج أو تتغير زاوية الضوء فلا يحدث انعكاس كلي وتفقد الإشارة.
- **التكلفة التأسيسية:** الأجهزة التي تحول الإشارات الكهربائية إلى ضوئية (Transceivers) وأجهزة اللحام الضوئي (Fusion Splicers) باهظة الثمن.

خلاصة:

لم تعد الألياف الضوئية مجرد خيار رفاهية، بل هي الأساس الذي قامت عليه تقنيات الجيل الخامس (5G)، الحوسبة السحابية، والبث الفوري للمعلومات. ومع تطور تقنيات التشفير واللحام، تظل هذه التكنولوجيا الخيار الأقوى والأكثر أماناً لمستقبل الشبكات.

By:Haytham Zeidan